

# ESTUDIO DE VIENTOS EN EL ÁREA DE ASTILLEROS RÍO SANTIAGO

Andrés Martínez del Pezzo<sup>1</sup>, Ana Scarabino<sup>2</sup>, Pablo Laiolo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Grupo Ensayos Mecánicos Aplicados (GEMA), <sup>2</sup>Laboratorio de Capa límite y Fluidodinámica Ambiental (LACLyFA)  
Depto. Aeronáutica, Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata  
Calles 1 y 47, (1900) La Plata, Argentina. Tel/fax: 0054 221 4236679  
E-mail: [scarabino@ing.unlp.edu.ar](mailto:scarabino@ing.unlp.edu.ar)

## RESUMEN

Se describen en este trabajo la rosa de los vientos y estadísticas de velocidad del viento medidas durante un año sobre la costa Sur del Río de La Plata, en las instalaciones de Astilleros Río Santiago (Ensenada, Argentina), y las posibilidades de aprovechamiento eólico en ese sitio. Si bien la velocidad media anual es insuficiente para la generación continua de energía eólica, se tiene un número importante de periodos de intensidad de viento suficiente y apropiada para la instalación, operación y estudio de un prototipo de aerogenerador, lo que constituyó la motivación principal de este estudio. Los resultados tienen una amplia aplicabilidad adicional en estudios de dispersión de contaminantes, ingeniería de vientos, ventilación natural, etc.

**Palabras clave:** viento, rosa de los vientos, energía eólica, potencial eólico

## STUDY OF THE WIND IN THE AREA OF RÍO SANTIAGO SHIPYARD

### ABSTRACT

This work describes the wind rose and mean wind velocity statistics registered over a one-year period in the southern coast of the La Plata river, in Rio Santiago Shipyard (Ensenada, Argentina), and the aeolian potential of the site. Although the wind yearly mean velocity is too low for a steady generation of wind energy, there is an important number of periods of wind velocity high enough for the installation, operation and study of a wind turbine prototype, which was the main purpose of these wind measurements. Additionally, these results are widely applicable in studies of pollutant dispersion, wind engineering, natural ventilation, etc.

**Keywords:** wind, wind rose, wind energy, aeolian potential.

### 1. Introducción:

La creciente utilización de energías renovables como complemento o sustituto de las fuentes tradicionales, plantea diversos problemas a la hora de encarar un proyecto. En particular la energía eólica depende de un recurso como el viento, que presenta una alta variabilidad, y resulta imposible de predecir, excepto en forma probabilística (Frost and Aspliden, 1994). La energía producida por las turbinas tradicionales es proporcional, hasta un cierto valor, al cubo de la velocidad del viento (Bastianón, 1994). Esto hace que pequeñas variaciones de intensidad de viento generen cambios significativos en su producción. Para evaluar el potencial eólico de un sitio es importante contar con estimaciones razonables de la producción esperada de energía y su variabilidad. La información usualmente disponible sobre el recurso eólico suele estar limitada a valores medios anuales de velocidad de viento en determinados puntos (estaciones meteorológicas, generalmente situadas en aeropuertos, puertos y otros puntos de interés específico), y en función de esas mediciones se presentan isotacas con una resolución limitada a decenas e incluso cientos de km. (ver p. ej. Reglamento CIRSOC 102). A partir de la creciente utilización de energía eólica en

nuestro país y en el mundo, se han intensificado las mediciones de vientos en regiones con alto potencial, particularmente en la Patagonia (Oliva 1997, Barros 1985). La información de velocidad media anual no contempla ni la variabilidad estacional, ni los cambios de dirección, ni las características locales de cada punto de emplazamiento, como construcciones aledañas, relieve y vegetación, que producen variaciones importantes de viento en sectores muy cercanos. Todos estos datos deben tenerse en cuenta ante un emprendimiento de energía eólica, y las variaciones de velocidad del viento deben conocerse con relativa precisión en un punto lo más cercano posible al de emplazamiento de los aerogeneradores.

Por otra parte, el contar con información más detallada de la variabilidad del viento en una localidad, es indispensable en áreas como el estudio de la difusión de contaminantes y la predicción de cargas de viento en estructuras (edificios, cables, puentes, etc.) (Holmes 2001, Sachs 1978). El primer punto en particular cobra importancia, teniendo en cuenta la existencia de un polo petroquímico entre el punto de medición de vientos y la ciudad de La Plata (Marañón Di Leo *et al.* 2004)].

Ante la posibilidad de instalación, con fines de investigación y desarrollo, de un prototipo de generador

eólico en las dependencias de Astilleros Río Santiago, se llevaron a cabo mediciones anemométricas durante un año, para analizar la intensidad y dirección del viento y su variabilidad. Con esos datos, se evaluó la capacidad de operación y conveniencia de instalación en ese sitio de un generador eólico tripala de eje horizontal, de 5 kW de potencia nominal, características del prototipo en desarrollo.

El objetivo de este trabajo es reportar los valores de viento medidos durante un año en Astilleros Río Santiago, su rosa de los vientos y su variabilidad mensual, y la evaluación de las posibilidades de generación de energía eólica en el sitio para un prototipo de aerogenerador de baja potencia.

## 2. Metodología

Se analizaron registros de viento adquiridos en Astilleros Río Santiago, a  $34^{\circ} 50'$  de Latitud Sud y  $57^{\circ} 52'$  de Longitud Oeste, sobre la margen Sur del Estuario del Río de la Plata a 10 km de la ciudad de La Plata, entre julio de 2003 y junio de 2004. (figura 1). La intensidad del viento en el punto de medición es menor que en otros lugares sobre la costa del Río de La Plata, ya que las Islas Paulino y Santiago atenúan al viento proveniente del río (direcciones N-NE). Sin embargo, se escogió este sitio por la facilidad de acceso y la infraestructura disponible (energía eléctrica, disponibilidad de grúas para colocar la central en la torre).



Figura 1: Ubicación de la central meteorológica

El relevamiento de los datos fue realizado utilizando una estación meteorológica marca Davis modelo Weather Monitor II, ubicada a 12 m de altura en una torre de iluminación, como se puede apreciar en las fotos (figura 2). Se eligió este lugar debido a que no existen construcciones que puedan producir sombra aerodinámica y a la propia existencia de esta torre, hecho que facilitó el trabajo de instalación del equipo.

La central registra los valores de velocidad de viento máxima (ráfaga) y media en el periodo de muestreo, como así también su dirección. También mide y adquiere los valores de temperatura, humedad, presión atmosférica y precipitaciones. Fue configurada para almacenar valores cada 15 minutos, para obtener una aceptable resolución en los datos sin saturar la memoria antes de 15 días, periodo en el que un operador debía descargar los mismos a una PC. Previamente a su emplazamiento, se verificó la calibración del anemómetro de copas de la central en el túnel de viento

del Departamento Aeronáutica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata.

Los datos fueron adquiridos en el periodo comprendido entre junio de 2003 y junio de 2004.

A partir de los datos relevados se estimó la energía eólica y la potencia de salida de un generador eólico, cuyas características principales son: potencia nominal 5 kW con una velocidad de viento de 11 m/s, 3 palas de 2,5 metros de largo cada una, y una eficiencia global constante, del 30 %.

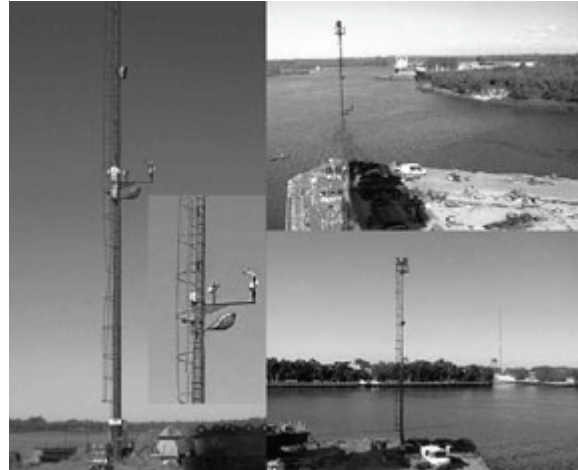


Figura 2: Emplazamiento de la central meteorológica

## 3. Resultados

### 3.1 Estadísticas del viento

El valor medio de la velocidad del viento registrada durante el año que duró el estudio es de 3,38 m/s.

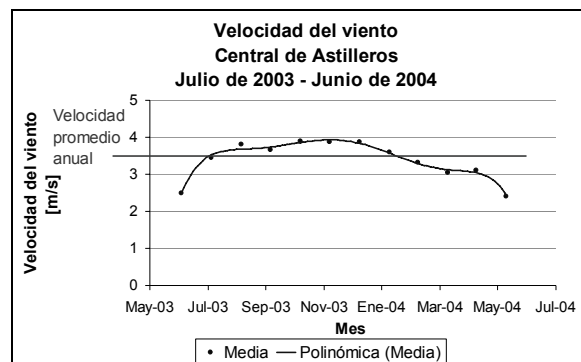


Figura 3: Velocidad media mensual

En la figura 3 se puede observar la variación de la velocidad media mensual del viento a lo largo del año estudiado. En el periodo entre agosto y diciembre se registraron vientos más intensos, con medias mensuales entre 3.5 y 4 m/s.

La figura 4 muestra la distribución de la energía eólica disponible por unidad de superficie perpendicular a la corriente, en función de la velocidad del viento y considerando la frecuencia de la velocidad del viento del

lugar. También se indica en el gráfico la velocidad promedio anual. Puede verse que las velocidades de viento que contribuyen con más energía a la producción total no son las más frecuentes, sino más altas, siendo la velocidad de 6 m/s la que contribuye en mayor medida. Esto se debe a la dependencia no lineal con la velocidad de la potencia extraíble del viento.

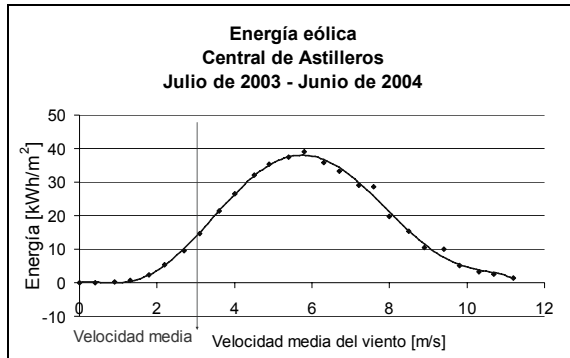


Figura 4: Distribución de energía del viento

En la figura 5 se observa la distribución de frecuencia de la velocidad del viento anual comparada con la distribución teórica de Weibull, de dos parámetros

$$p(V) = \frac{k}{V_m} \left( \frac{V}{V_m} \right)^{(k-1)} e^{-\left( \frac{V}{V_m} \right)^k}$$

En el caso particular de  $k = 2$ , esta distribución se convierte en la distribución de Rayleigh, con un solo parámetro variable,  $V_m$ . Observando este gráfico se puede concluir que la distribución de frecuencia de velocidades del lugar, puede ser ajustada utilizando la expresión de Rayleigh. Esta información es útil a la hora de estimar la potencia y la energía que se obtendrían con un generador eólico, a partir de la velocidad media del viento del lugar de emplazamiento únicamente.

Vale aclarar que de esta “energía disponible” se puede aprovechar el 59 % como valor máximo ideal (límite de Betz (Bastianón 1994), siendo el aprovechamiento típico en grandes turbinas eólicas (500 kW y más ) del orden del 40%.

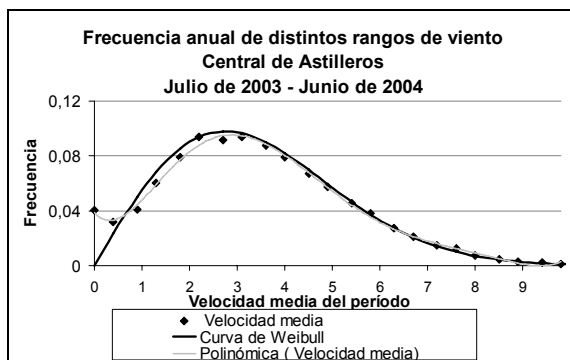


Figura 5: Frecuencia anual de intensidad del viento (m/s)

La figura 6 muestra la probabilidad de registrar un valor de la velocidad del viento igual o mayor a la indicada, para cada mes del año de registros. Se observa que tenemos una velocidad superior a 4 m/s alrededor de un 40 % del tiempo dependiendo del mes, registrándose mayores lecturas durante el último tercio del año. También podemos observar que durante un 10 % del tiempo se registraron vientos con una velocidad de 6 a 8 m/s, hecho que permitiría observar el comportamiento del conjunto ante velocidades del viento más cercanas a la nominal del aerogenerador.

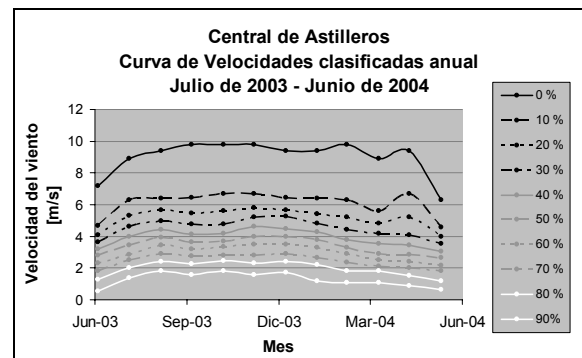


Figura 6: Probabilidad de superar una dada velocidad de viento mes a mes

En la figura 7 se sintetiza la información de la figura anterior, mostrando la probabilidad general en el año de registrar una velocidad del viento igual o mayor a la indicada. Considerando que la velocidad de arranque del generador eólico prototipo es de 4 m/s, podemos concluir que éste funcionará alrededor del 40 % del tiempo.

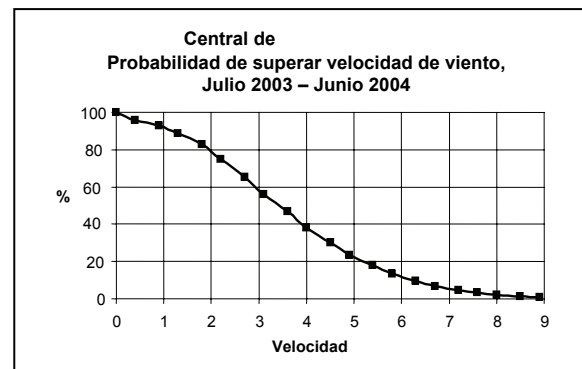


Figura 7: Probabilidad de superar una dada velocidad de viento durante el año

Por último en la figura 8 se muestra en la rosa de los vientos del lugar: la frecuencia de cada dirección del viento (sector negro externo), la velocidad promedio del viento de cada dirección multiplicada por su frecuencia (sector gris oscuro) y la fracción del total de energía aportada por el viento de cada dirección (sector gris claro interno). El círculo mayor representa el valor máximo en cada caso, y el tamaño de los sectores es proporcional a esa escala. La tabla I cuantifica esos valores.

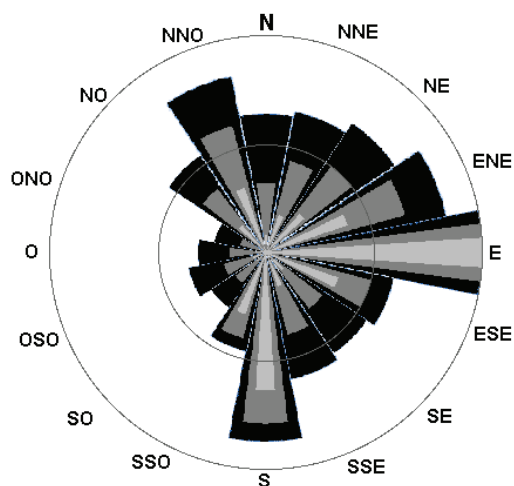


Figura 8: Características del viento discriminadas según dirección de origen

Tabla I: Valores de la figura 8

	Color	100%	50%
Frecuencia de cada dirección	Negro	10,5%	5,2%
Velocidad promedio *			
frecuencia (m/s)	Gris oscuro	0,51 m/s	0,254 m/s
Potencia * frecuencia (kW/m <sup>2</sup> )	Gris claro	11,92 m <sup>3</sup> /s <sup>3</sup>	5,96 m <sup>3</sup> /s <sup>3</sup>

A partir de este gráfico se concluye que la dirección de viento predominante del lugar es el Este, y que el viento proveniente de esa dirección es el que contribuye a la energía generada en mayor medida, seguido en frecuencia por las direcciones NNE y S, con esta última aportando una contribución significativa a la energía total.

Finalmente, en la tabla II se sintetizan los datos más relevantes obtenidos a partir de este estudio:

Tabla II: Síntesis de resultados

Velocidad media anual [m/s]	3,38
Valor promedio de ráfaga [m/s]	6,08
Valor máximo de velocidad registrado [m/s]	27,7
Energía eólica disponible mensual promedio [MJ/m <sup>2</sup> ] y (kWh/m <sup>2</sup> )	86.04 (23,9)
Porcentaje anual promedio que el viento supera los 4 m/s	40%
Direcciones predominantes	E, S, NNO
Se puede aplicar la distribución de Rayleigh	Si

### 3.2 Estimaciones de energía

A continuación se presentan las curvas características del generador a instalar: potencia para cada intensidad de viento (figura 9) y energía mensual, según la velocidad media de cada sitio (figura 10).

La figura 9 muestra un valor estimativo de la potencia de salida del generador eólico y la figura 10, la curva de la energía mensual teórica que el generador podría producir, en función de la velocidad media del viento del lugar de emplazamiento y de una distribución de velocidades de viento basada en una distribución de Weibull con  $k = 2$ . Los valores de ambos gráficos fueron calculados basándose en el generador ideal descrito anteriormente.

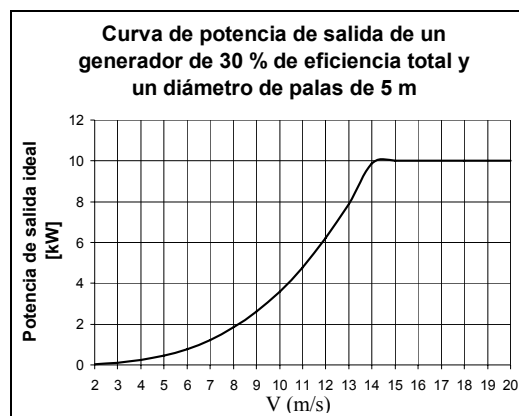


Figura 9: Curva Potencia vs. V del generador eólico

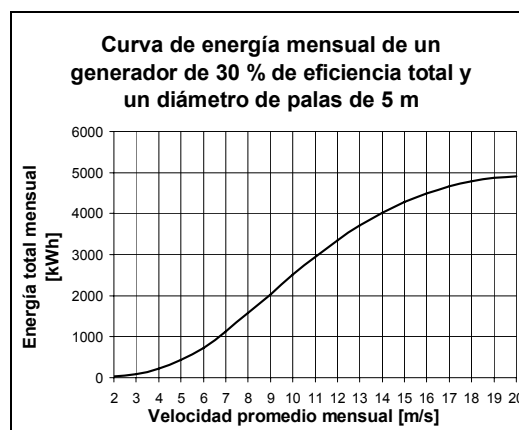


Figura 10: Producción mensual de energía

En base a estos gráficos se puede estimar que dicho generador producirá 486 MJ o 135 kWh al mes.

## 4. Conclusiones

Se completó un periodo de un año de mediciones de velocidad del viento en las instalaciones de Astilleros Río Santiago. La velocidad media anual fue de 3.38 m/s, con variaciones mensuales entre 2.41 m/s y 3.88 m/s. Las frecuencias de intensidad de viento permiten un buen ajuste por la ley de distribución de Rayleigh. Se reporta además la

rosa de los vientos, que muestra las direcciones Este, Sur y NNO como las predominantes, y también las que más contribuyen a la generación de energía en el lugar. El estudio demuestra que el sitio no resulta apto para una producción razonable de energía eólica, pero sí lo es para realizar estudios y correcciones de diseño sobre un prototipo, que podría operar durante el 40% del tiempo.

Se destaca como una característica a la cual prestar atención la intensidad y frecuencia de ocurrencia de vientos del Este y Este-Nordeste, que transportan a la zona de la ciudad de La Plata y sus suburbios los humos de las industrias del polo petroquímico de Ensenada.

## Referencias

Barros, V. 1985: *"Atlas del Potencial Eólico del Sur Argentino"*. Centro Nacional Patagónico, Centro Regional de Energía Eólica. Rawson, Chubut, Argentina.

Bastianón R. 1994: *Energía del viento y diseño de turbinas eólicas*, 2 ° Edición, Tiempo de Cultura Ediciones.

Frost. W. and Aspliden C. 1994: Characteristics of the wind, en *Wind Turbine Technology*, Ed. D. Spera, ASME Press, NY.

Holmes J.D. 2001 *"Wind Loading of Structures"*, ed. Taylor and Francis

Marañón Di Leo J., Delnero S., Ragaini J.C., Sacchetto V., Colosqui C., Colman J., Boldes U., Scarabino A., Rosato M., Reyna Almandos J.: "Air concentrations of SO<sub>2</sub> and wind turbulence near La Plata Petrochemical Pole", *Latin-American Journal of Applied Research*, Vol. 34/1, 2004, pp. 55–58

Oliva R. 1997: Results after First Year of Automated Wind Measurements in Santa Cruz, Southern Patagonia. *Wind Engineering* Vol.21, N°2, pp.113-124

Reglamento CIRSOC 102: *Acción del Viento sobre las Construcciones*.

Sachs P. 1978, *"Wind Forces in Engineering"*, Pergamon Press.